

**Trabalho de conclusão de curso**

**Efeitos da piezoeletricidade na  
movimentação ortodôntica  
Revisão de Literatura**

**Aline Espindula**



**Universidade Federal de Santa Catarina  
Curso de Graduação em Odontologia**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA**

Aline Espindula

**EFEITOS DA PIEZOELETRICIDADE NA  
MOVIMENTAÇÃO ORTODÔNTICA  
REVISÃO DE LITERATURA**

Trabalho apresentado à Universidade  
Federal de Santa Catarina, como  
requisito para a conclusão do Curso  
de Graduação em Odontologia.  
Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Daltro E. Ritter  
Co-orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Roberto Rocha

Florianópolis

2014



**Aline Espindula**  
**EFEITOS DA PIEZOELETRICIDADE NA**  
**MOVIMENTAÇÃO ORTODÔNTICA**  
**REVISÃO DE LITERATURA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para  
obtenção do Título de cirurgião-dentista, e aprovado em sua  
forma final pelo Departamento de Odontologia da Universidade  
Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 13 de Novembro de 2014

**Banca Examinadora:**

---

Prof<sup>o</sup>, Dr. Daltro E. Ritter,

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof<sup>o</sup>, Dr. Roberto Rocha

Co-Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof.<sup>a</sup>, Dr.<sup>a</sup> Carolina da Luz Baratieri

Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof<sup>o</sup>, Dr. Rubens Rodrigues Filho

Universidade Federal de Santa Catarina



*Dedico este trabalho aos meus pais, que tornaram possível a realização desta conquista, me apoiando e encorajando em cada momento. Dedico aos meus amigos, que fizeram desta experiência uma grande satisfação. Dedico também aos meus professores, que me privilegiaram com seu conhecimento e dedicação durante toda a minha vida acadêmica.*





## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi uma verdadeira jornada de crescimento para mim e gostaria de dedicá-lo a todos que participaram pacientemente deste processo.

Agradeço a Deus, que me presenteou com esta, e muitas outras oportunidades, neste período de conclusão de curso, de amadurecer e praticar a auto-superação.

Agradeço a minha amada família, que me acompanhou neste processo, por muitas vezes preocupados, mas sempre solícitos, com todo afeto e carinho.

Aos meus queridos amigos, que foram imprescindíveis nesta caminhada, trouxeram muitos risos e parceria nos momentos difíceis. Entre eles, gostaria de agradecer principalmente à minha dupla, amiga e irmã de coração, Debora, que foi uma grande companheira durante a elaboração deste trabalho, e me ensinou que com um pouco de música pode-se realizar tudo com muita satisfação.

Agradeço ao meu orientador, prof. Dr. Daltro E. Ritter, que foi sem dúvida, essencial para que pudéssemos desenvolver este trabalho e sempre se mostrou interessado, acessível e muito disposto a me aconselhar. Ao meu co-orientador, prof. Dr. Roberto Rocha, sempre disponível a ouvir as minhas dúvidas e inspirou-me a buscar por excelência.

Agradeço também ao irmão Luciano, fitoterapeuta, que me apresentou oportunidades e o conhecimento que possibilitou a escolha do tema deste trabalho.



***O importante é não parar de questionar,  
curiosidade tem suas razões para existir.***

Albert Einstein, 1955



## **RESUMO**

Este trabalho desenvolvido trata-se de uma pesquisa bibliográfica realizada pela busca da literatura nas bases de dados Scielo, LILACS, MEDLINE e Bireme, publicados no período de 1965 a 2014. Foram incluídos 29 artigos, nacionais e internacionais, 3 livros técnicos de ortodontia e 1 de fisioterapia e 4 dissertações de mestrado. A literatura reconhece que o tratamento ortodôntico traz algumas limitações como o tempo necessário para a sua conclusão, o desconforto do paciente e a reabsorção radicular. As eletroterapias e o ultrassom mostram na literatura que tem grande influência no metabolismo ósseo e já são utilizados na área da fisioterapia com excelência nos resultados. Este trabalho teve como objetivo pesquisar na bibliografia quais os efeitos destas intervenções no tratamento ortodôntico, avaliando se estão aptas para beneficiar o trabalho dos cirurgiões-dentistas, diminuindo as restrições encontradas por estes no dia-a-dia clínico. Os autores obtiveram bons resultados na movimentação ortodôntica e na recuperação de dentes que sofreram reabsorção radicular, no entanto, maiores estudos são necessários sobre o assunto.

Palavras-chave: Piezoelectricidade, ortodontia, ultrassom, terapia por estimulação elétrica, movimentação dentária, reabsorção da raiz



## **ABSTRACT**

This paper is a literature review developed through the search in the data bases Scielo, LILACS, MEDLINE e Bireme, published in the period of 1965 to 2014. Were included 29 articles, national and international, 3 technical books of orthodontics and 1 of physiotherapy and 4 masters dissertations. Literature recognizes that the orthodontic treatment has some limitations, like the time needed to finish it, the discomfort experienced by the patients, and root resorption. The researches about electric therapies and the ultrasonic treatment suggest that these have great influence in the bone metabolism, and are used by physiotherapy with excellent results. This paper aims to look in the bibliography what are the effects of these interventions in the orthodontic treatment, evaluating if it is possible to benefit dentists' work, diminishing the restrictions faced in the clinical routine. The authors presented good results in the tooth movement and in the recovery of teeth that suffered root resorption, however, it is necessary to develop more studies on the subject.

**Key-words:** Piezoelectricity, Orthodontics, ultrasonic therapy, electric stimulation, tooth movement, root resorption





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Como funciona a piezoeletricidade .....	27
Figura 2 - Micrografia eletrônica comparando a reabsorção nas faces vestibulares entre os grupos do estudo. Grupo experimental, acima, grupo controle, abaixo.....	35
Figura 3 - Fotomicrografia da face palatal do ápice radicular, no grupo controle, à esquerda. É possível ver grande quantidade de lacunas de reabsorção. Já no grupo de LIPUS, à direita, observa-se a deposição de cimento acelular. ....	35
Figura 4 - Micrografia dos grupos controle, experimental 5 minutos de ultrassom e 10 minutos de ultrassom. É possível observar maior quantidade de predentina e cimento nos grupos experimentais. Aumento de 40x.....	37
Figura 5 - Micrografia do grupo LIPUS, mostrando a contagem de osteoclastos nos dias 0, 3 e 7 de experimento. ....	38
Figura 6 - Efeitos do LIPUS em células do ligamento periodontal em análise imunohistoquímica quantitativa de expressão de BMP-2....	38
Figura 7 - Imagem da movimentação dentária resultante no grupos após 10 dias de controle, à esquerda. Fotomicrografia da região pré-maxilar e incisivos, à direita. A: Grupo controle. B: Grupo experimental. ....	39



## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>OPG:</b> osteoprotegerina.....	25
<b>PTH:</b> paratormônio.....	25
<b>TNF:</b> fator de necrose tumoral.....	25
<b>TGF-beta:</b> Fator de transformação do crescimento beta.....	25
<b>PDGF:</b> fator de crescimento derivado de plaquetas.....	25
<b>IGF- I e II:</b> fator de crescimento semelhante à insulina tipo I e II.....	25
<b>FGF:</b> fator de crescimento fibroblástico.....	25
<b>PEMFs:</b> campos eletromagnéticos pulsados.....	30
<b>FGF:</b> fator de crescimento de fibroblastos.....	31
<b>TGF – <math>\beta</math>:</b> fator de transformação de crescimento beta.....	31
<b>BMP:</b> proteína morfogenética óssea.....	26 e 31
<b>TENS:</b> Estimulação elétrica nervosa transcutânea.....	32
<b>LIPUS:</b> ultrassom de baixa intensidade pulsado (LIPUS).....	34
<b>HGF:</b> fator de crescimento de hepatócitos.....	36
<b>Runx2/BMP-2:</b> Fator de transcrição relacionado à runt 2/ proteína óssea morfogenética 2.....	36
<b>NF-kB (RANKL):</b> receptor ativador de fator de necrose tumoral.....	36
<b>PCR:</b> Proteína C reativa.....	36



## SUMÁRIO

<b>1- INTRODUÇÃO .....</b>	<b>22</b>
1.1 <b>OBJETIVOS.....</b>	22
1.1.1 OBJETIVO GERAL:.....	22
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	23
<b>1.2 METODOLOGIA.....</b>	<b>23</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>25</b>
2.1 FISIOLOGIA DA MOVIMENTAÇÃO ORTODÔNTICA....	25
2.2 TEORIA BIOELÉTRICA E PIEZOELETRICIDADE .....	27
2.3 TERAPIAS COMPLEMENTARES QUE UTILIZAM A PIEZOELETRICIDADE REVERSA .....	28
2.3.1 ULTRASSOM .....	28
2.3.2 CORRENTE ELÉTRICA E CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS.....	29
2.4 MOVIMENTAÇÃO ORTODÔNTICA ESTIMULADA POR TERAPIAS COMPLEMENTARES QUE UTILIZAM A PIEZOELETRICIDADE.....	32
<b>3 DISCUSSÃO .....</b>	<b>42</b>
<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>47</b>
<b>5 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>49</b>

## 1- INTRODUÇÃO

Durante a movimentação ortodôntica, muitos fatores influenciam para que o dente encontre sua nova posição. Mudanças tissulares ocorrem nos tecidos de suporte, como o ligamento periodontal, inervação, vascularização e osso alveolar, sendo estas mudanças próprias do organismo.

As alterações orgânicas geradas por esta dinâmica são diferentes das ocasionadas pela movimentação fisiológica. A movimentação ortodôntica se dá em menos tempo e maior velocidade, desencadeando um processo inflamatório agudo primariamente, e as substâncias inflamatórias liberadas em resposta a este estímulo geram, entre outros mecanismos, a liberação de osteoclastos, que terão papel fundamental na remodelação óssea (PROFFIT; FIELDS JUNIOR; SARVER, 2007).

No entanto, esta resposta inflamatória, precisa de um gatilho para desencadeá-la. A literatura cita duas teorias que podem explicar a sua ativação. Estas, por sua vez, não se excluem e nem são incompatíveis: a teoria da Tensão-Pressão e da Piezoelectricidade (PROFFIT; FIELDS JUNIOR; SARVER, 2007).

A piezoelectricidade trata-se de um potencial elétrico gerado quando se comprime cristais, ou seja, por pressão. (PASACHOFF, 1996). Esta propriedade está presente nos ossos, ligamentos e tendões e a sua existência possibilita a obtenção de resultados terapêuticos através da utilização de mecanismos como ultrassom, eletroterapias e campos eletromagnéticos (CHALKLEY, 1943).

Neste trabalho, avaliaram-se quais os efeitos destas terapias no tratamento ortodôntico. As terapias mencionadas já são utilizadas na fisioterapia com ótimos resultados, no entanto na odontologia o assunto ainda é pouco explorado. Vista esta necessidade, procurou-se esclarecer os cirurgiões-dentistas se é possível a adequação destes recursos para a especialidade da ortodontia e, se através desta utilização é possível gerar benefícios para os pacientes.

### 1.1 OBJETIVOS

#### 1.1.1 OBJETIVO GERAL:

Realizar uma revisão de literatura buscando responder à seguinte pergunta: Quais são os efeitos das intervenções que utilizam a piezoelectricidade na movimentação ortodôntica?

### 1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Pesquisar na literatura quais as ações das terapias elétricas, ultrassom e campos magnéticos em remodelação óssea, com foco nas ações em osso alveolar, ligamento periodontal e estrutura dental.

Informar aos cirurgiões dentistas quanto às vantagens e desvantagens de associar estas técnicas complementares ao tratamento ortodôntico.

## 1.2 METODOLOGIA

Este estudo é uma revisão da literatura, realizada entre Dezembro de 2013 e Outubro de 2014, no qual se realizou consulta a livros e artigos científicos selecionados através de busca no banco de dados do Scielo, Bireme, Medline e Lilacs. A busca nos bancos de dados utilizou as terminologias cadastradas nos Descritores em Ciências da Saúde criados pela Biblioteca Virtual em Saúde. Foram incluídos 25 artigos, nacionais e internacionais, publicados no período de 1965 a 2014, 5 livros técnicos de ortodontia e fisioterapia e 2 dissertações de mestrado.





## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 FISIOLOGIA DA MOVIMENTAÇÃO ORTODÔNTICA

Para esclarecer a fisiologia da movimentação ortodôntica é preciso elucidar quais estruturas participam desta dinâmica. De acordo com Proffit, Fields Junior e Sarver (2007), cada elemento dental está sustentado por um ligamento periodontal, que se conecta ao osso alveolar subjacente. O ligamento periodontal é uma rede de fibras colágenas paralelas inseridas no cimento da superfície radicular e da lâmina dura. Esta organização deve suportar os deslocamentos realizados pelo elemento dental durante as funções normais.

Além dos feixes de colágeno, é possível encontrar no ligamento periodontal vasos sanguíneos, terminações nervosas, responsáveis pela sensação dolorosa, células mesenquimais indiferenciadas, fibroblastos e osteoblastos (PROFFIT; FIELDS JUNIOR; SARVER, 2007).

Amadei et. al. (2006) explica os fatores que influenciam a fisiologia da remodelação óssea. Enquanto há a transformação dos osteoclastos multinucleados, a partir das células precursoras de osteoclastos, ocorre a secreção de enzimas proteolíticas na camada osteóide não-mineralizada pelos osteoblastos de revestimento. Os principais fatores responsáveis pela gênese de osteoclastos são: osteoprotegerina (OPG), receptor ativador de fator de necrose tumoral (NF- $\kappa$ B [RANK]), e a citocina ligante RANK (RANKL), tendo como principal papel a inibição da apoptose destas células. Através das integrinas, proteínas presentes na membrana celular, há o reconhecimento das proteínas da matriz óssea extracelular formando adesões focais, onde serão criadas as lacunas de reabsorção. Há então a estimulação e ativação dos osteoclastos por calcitriol, paratormônio (PTH), fator de necrose tumoral (TNF), prostaglandina E<sub>2</sub>, além das interleucinas 1, 11 e 6. A sua inibição ocorre por interleucina 4 e 13 e o que encerra essa fase pode ser um elevado nível de cálcio local ou substâncias liberadas pela própria matriz.

Já os osteoblastos são células que sintetizam a parte orgânica da matriz óssea. Estes se proliferam mediados por fatores de crescimento como: TGF-beta, IGF-I e II, o fator de crescimento fibroblástico (FGF) e o fator de crescimento derivado de plaquetas (PDGF). Esses fatores podem não só auxiliar na formação óssea, mas também impedir a apoptose osteoblástica. A partir destes estímulos as células secretam fosfatase alcalina, ácido hialurônico, sulfato de

condroitina, osteopontina, osteonectina, sialoproteína óssea, pró-colagenase, ativador de plasminogênio e proteína morfogenética do osso (BMP), entre outras (AMADEI et. al., 2006)

Segundo Moyers (1991) as células osteoblásticas e osteoclásticas são responsáveis pela remodelação da matriz óssea e colágena, remodelando assim o alvéolo ósseo e o cemento radicular, diante das forças naturais inerentes. Estas forças são o resultado das forças transmitidas através da oclusão dos dentes, deglutição, fala, postura, mastigação e respiração, estas originadas pelos músculos. Há também forças provenientes do interior dos dentes, como a erupção, por exemplo. Já as forças anormais são constituídas por interposição lingual, sucção digital, disfunção oclusal, oclusão traumática, bruxismo e forças induzidas com fins terapêuticos.

Todas estas forças citadas geram uma resposta nos tecidos de suporte que resultam no movimento físico do dente, consequência de interações fisiológicas, as quais se dão num nível inter/intra e extracelular. Estes fenômenos são reabsorção e formação óssea com seus fatores locais associados, controle sistêmico hormonal da atividade ósseo-celular, assim como as respostas aos sinais endoteliais, nervosos, inflamatórios e imunológicos. Se a movimentação é induzida estas interações são as mesmas, no entanto, a recuperação dos tecidos ocorre mais vagarosamente (PRIETO, 2005).

O mecanismo da reabsorção óssea durante o movimento ortodôntico envolve uma série de etapas direcionadas para a remoção dos constituintes minerais e orgânicos da matriz óssea pelos osteoclastos, auxiliados pelos osteoblastos (PIETRO, 2005).

Proffit (2007) elucida em seu livro como a movimentação dentária sofre a influência de sinais químicos liberados por mudanças na vascularização, geradas pela tensão e pressão no ligamento periodontal, diante da ativação do aparelho ortodôntico. A teoria da Tensão-Pressão sugere que liberando mensageiros químicos há ativação celular e, consequentemente, remodelação óssea.

No entanto, Heller e Nanda (1979) avaliaram os efeitos da alteração metabólica das fibras periodontais no movimento ortodôntico em ratos. Os resultados sugeriram que a resposta histológica típica à aplicação de força ortodôntica pode ocorrer na presença de um periodonto alterado química e fisicamente. Os dados coletados quantitativamente inferiram que a tensão das fibras nos alvéolos pode não ser absolutamente necessária para estimular uma formação óssea. A distorção dos alvéolos relacionada à aplicação de força pode ser um fator mais importante, iniciando a resposta óssea. Entretanto, as fibras

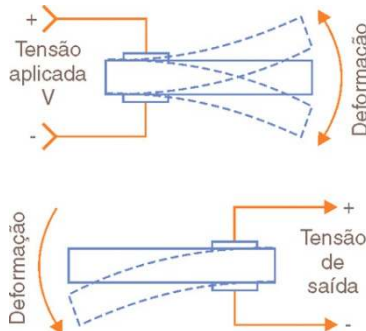
do ligamento periodontal podem ter um papel passivo, através da transferência da força ortodôntica para os alvéolos.

## 2.2 TEORIA BIOELÉTRICA E PIEZOELETRICIDADE

Em 1880, Pierre Curie, um dos fundadores da física moderna, ganhador do prêmio Nobel por descobertas sobre os fenômenos da radioatividade, e Jacques, também físico e seu irmão mais velho, demonstraram que se gerava um potencial elétrico quando se comprimia cristais, ou seja, por pressão. Eis que surgiu a piezoeletricidade. Pouco depois, em 1881, eles demonstraram a existência do efeito inverso: que os cristais podiam ser deformados quando submetidos a um campo elétrico (PASACHOFF, 1996).

Então, em 1965, Epker e Frost sugeriram em sua pesquisa que, induzindo-se pressão, pode-se causar algum efeito na superfície óssea, controlando-se os padrões de comportamento celular do osso. Hoje já se sabe que este fenômeno mencionado pelos pesquisadores é, de fato, o mesmo efeito piezoeletrico descoberto pelos irmãos Curie.

Todavia, antes de se esclarecer sobre a propriedade piezoeletrica nos organismos, é necessário entender o que é eletricidade. Kitchen (2003) explica que a carga elétrica nada mais é do que um fluxo formado por elétrons ou íons. Para que este movimento ordenado de partículas, eletricamente carregadas, ocorra é necessário que estes íons ou elétrons estejam livres no interior dos corpos. Logo, nosso organismo funciona como um condutor.



**Figura 1 – Como funciona a piezoeletricidade**

Fonte: Saber Eletrônica (2006)

A corrente elétrica é medida em Ampère, que é a representação de um Coulomb de carga fluindo através de um ponto em 1 segundo. O Coulomb é a unidade de carga, que é formada quando, em um átomo, há uma diferença entre o número de elétrons e prótons, ou seja, carga diferente de zero. Um Coulomb é formado por  $6,28 \times 10^{18}$  elétrons (KITCHEN, 2003).

As proteínas presentes no corpo humano são formadas por cadeias longas. Uma das principais é o colágeno, o qual está presente em ossos, tendões e ligamentos. Quando o colágeno sofre uma deformação, causada por estímulo mecânico, há a formação de eletricidade, uma diferença de potencial (PROFFIT, 2007). De acordo com Nimojima e Gonçalves (1996), estas alterações no ambiente elétrico fazem com que as células ósseas respondam se diferenciando, e assim se inicia o processo de remodelação.

Otter, Goheen e Williams (1988) mostraram em sua pesquisa que, a propriedade piezoelétrica do colágeno gera potenciais elétricos diante do estímulo mecânico. Com compressão há a geração de potencial eletronegativo, já na tensão há potencial eletropositivo.

Este é o percurso natural do processo, mas quando se fala em utilizar correntes elétricas com fins terapêuticos a teoria utilizada é a Piezoeletricidade Reversa. Proffit (2007) também aborda esta proposição em seu livro, relatando que se um sinal elétrico externo for gerado e aplicado no colágeno, por exemplo, este sofrerá a mesma distorção provocada em sistemas orgânicos, e, conseqüentemente, a massa óssea local é alterada.

## 2.3 TERAPIAS COMPLEMENTARES QUE UTILIZAM A PIEZOELETRICIDADE REVERSA

### 2.3.1 Ultrassom

Segundo Okuno (1982) as ondas ultrassônicas, muito utilizadas nas áreas da saúde, são geradas por transdutores feitos de materiais piezoelétricos ou ferroelétricos que também apresentam o efeito da piezoeletricidade. A interação das cargas elétricas induzidas com as cargas do material produz tensões mecânicas. O material deve ser

dimensionado de forma que o campo elétrico alternado produza uma variação na sua espessura, que resulta no movimento das faces dos cristais, gerando ondas sonoras. Da mesma forma que o transdutor emite o sinal de ultra-som, ele pode recebê-lo. O eco que retorna a ele causa uma vibração no material, que altera sua dimensão física e, por sua vez, utilizando a propriedade da piezoeletricidade reversa há a geração de uma corrente elétrica, registrado por um osciloscópio ou um gravificador.

O resultado no reparo ósseo se dá por meio do efeito piezoelétrico, pois o método ultrassônico gera cargas elétricas no osso, visto que a sua superfície recebe uma sucessão de impulsos. Estes impulsos geram uma resposta semelhante ao processo natural de consolidação, mimetizando o estímulo orgânico. A carga elétrica produzida no osso, em resposta às pulsações ocasiona divisão celular, mantendo o equilíbrio entre remodelamento e absorção (ALBERTIN, (2004).

Albertin (2004) utilizou o ultrassom para proporcionar reparo ósseo em coelhos da raça Nova Zelândia, os quais passaram por osteotomia experimental no osso rádio. As ondas ultrassônicas aplicadas eram pulsadas, possuíam de largura de pulso igual a 50  $\mu$ s, frequência de repetição de 500Hz e amplitude de 30 v (pico a pico), intensidade média temporal de 80 mw/cm. Os coelhos foram divididos em grupo controle, 5, 10, 20 e 40 minutos de aplicação, cada um com 3 integrantes. Após 15 dias de aplicações foram realizadas as análises radiográficas, histológicas e morfométricas. Albertin obteve melhores resultados no grupo de 40 minutos em todas as análises, pois apresentou maior quantidade de tecido cartilaginoso maduro e ósseo neoformado. É importante salientar que os demais grupos experimentais, exceto o de 5 minutos, também apresentaram resultados satisfatórios em relação ao grupo controle.

### 2.3.2 Corrente Elétrica e Campos Eletromagnéticos

Desde 1812 a eletricidade já era uma via conhecida para restabelecer ossos fraturados (TELEGA; WOJNAR, 2002). O interesse na comunidade acadêmica pelo assunto surgiu com o trabalho de Fukada e Yasuda (1957), testando o efeito da piezoeletricidade em ossos.

De acordo com Durán (2003), quando uma voltagem externa é aplicada ao corpo, sua própria resistência deve ser conhecida. Esta resistência será diferente de acordo com a parte do corpo em que é medida e se a pele está seca ou molhada. Os íons presentes no líquido facilitam a passagem da corrente, a qual fluirá pelo interior do corpo.

Há muitas categorias de terapias elétricas e as correntes utilizadas variam entre diretas ou contínuas e alternadas. Os formatos das ondas também variam de acordo com o procedimento. Os parâmetros ajustáveis para o controle da eletroterapia são: amplitude, duração, carga de pulso e frequência (KITCHEN, 2003). Para estimulação da osteogênese há três tipos de intervenções elétricas mais utilizadas: a corrente elétrica direta, acoplamento capacitivo e acoplamento indutivo (KUZIC e SCHEMITSCH, 2009).

Quando a aplicação de corrente elétrica é direta se trata de uma técnica invasiva que envolve a implantação de um ou mais cátodos no osso e o ânodo na pele, sobre a fratura. Já as duas técnicas seguintes são não-invasivas. No acoplamento capacitivo há a aplicação sobre a pele de dois eletrodos, mantendo-se entre estes a fratura. Na intervenção de acoplamento indutivo o estímulo elétrico ocorre através de um dispositivo eletromagnético pulsátil (PEMFs), o qual deve ser posicionado sobre a pele no local lesionado. O dispositivo do PEMFs consiste em uma mola metálica, através desta passa-se uma corrente que gera, por sua vez, um campo magnético. Este campo magnético induz um campo elétrico no osso de tamanho variável. Esta variação é de acordo com as características do tecido e do tamanho do campo magnético (KUZIC e SCHEMITSCH, 2009).

O que torna esta terceira técnica interessante é que, como ocorre variação na corrente que passa pelo PEMFs, há também variação na corrente elétrica que corre pelo osso com o tempo, o que simula uma resposta fisiológica diante dos estímulos mecânicos (NELSON et al. 2003).

Para entender estas técnicas, é necessário avaliar seus efeitos fisiológicos, que foram pesquisados por Bushinsky (1996). O autor relacionou os resultados gerados pela técnica direta, ou seja, técnica invasiva, ao aumento do pH, diminuição de oxigênio local e produção de peróxido de hidrogênio. Estas variações estão ligadas ao aumento da atividade osteoblástica e diminuição da osteoclástica.

Já na intervenção do acoplamento capacitivo (PEMFs), Kuzyc e Schemitsch (2009) concluem que a resposta na proliferação de osteoblastos está relacionada ao aumento da concentração de cálcio intracelular. A transdução do sinal elétrico resulta na passagem dos íons cálcio pelos canais de cálcio voltagem dependentes. Isto leva ao aumento da produção de fatores de crescimento, importantes na diferenciação e proliferação dos osteoblastos.

No acoplamento indutivo, o resultado fisiológico também consiste no aumento do cálcio intracelular, no entanto, por vias químicas diferentes do capacitivo, já que as pesquisas mostraram que medicamentos diferentes bloquearam a proliferação celular gerada por estas duas técnicas (WANG, CLARK E BRIGHTON, 2006).

Zhou et al. (2012) avaliou em ratos Sprague Dawley a influência da utilização de campos eletromagnéticos (PEMFs) na via proteína Wnt /  $\beta$  -catenina. Esta via regula a pluripotência das células-tronco, e decide o destino celular durante o desenvolvimento. Esta cascata também integra sinais de outras vias, incluindo o ácido retinóico, o FGF e o TGF -  $\beta$  dentro de diferentes tipos de células e tecidos (CLEVERS; NUSSE, 2012). Há ainda evidências de que a ativação desta via ocasiona proliferação e diferenciação de células precursoras de osteoblastos, aumentando a atividade osteoblástica (ZHOU et al., 2012).

Durante sua pesquisa, Zhou et al. (2012) avaliou a perda óssea ocasionada em cobaias que passaram por ovariectomia. Estas foram divididas em três grupos, sendo o primeiro o grupo de simulação, o segundo sofreu cirurgia somente, e o terceiro passou pela cirurgia e por aplicações de PEMFs, 40 minutos por dia, 5 dias por semana, durante 12 semanas, no período pós-cirúrgico. Obtiveram como resultados histomorfométricos aumento na área trabecular óssea, na densidade e no número de trabéculas. Houve também aumento nos níveis de Fosfatase alcalina óssea específica, importante marcador de formação óssea.

Bassett et al. (1977) trabalharam com uma variedade de formas de correntes para aumentar a consolidação de fraturas. Estas incluíram alta frequência, corrente direta pulsada e modos contínuos das correntes diretas alternadas. Com exceção de casos envolvendo osteotomia e infecção, os resultados são favoráveis. Quando há osteotomia e infecção é necessário muito tempo para mostrar mudanças, quando estas ocorrem.

Além de osteointegração, as intervenções elétricas podem gerar outros efeitos interessantes. Kahn (2001) afirma que através da estimulação elétrica nervosa transcutânea (TENS), pode-se obter ótimos resultados em dores pré e pós-cirúrgicas, reparação e controle de dor em fraturas não-consolidadas, ou seja, com mais de 6 meses sem reparação, dores na ATM e odontológicas, entre outras. Quando se trata de controle da dor, o uso de microcorrentes possibilita normalizar o fluxo elétrico da região lesionada do organismo, visando o seu reparo, pois diante de um trauma, há alteração no balanço elétrico local (KITCHEN, 2003).

Muitas das pesquisas relacionadas à ação das correntes elétricas em formação óssea são feitas em tibia de ratos Wistar. Bertolini et al.(2008) utilizou corrente elétrica não invasiva em 30 animais desta raça testando a resposta na osteogênese, pós-trauma. Seus resultados foram positivos, havendo aceleração em todas as fases de neoformação óssea. Bittencourt (2008) também testou a osteogênese nesta mesma classe de ratos, pós-trauma, utilizando como terapia as microcorrentes. Concluiu que em cortical não houve diferenças significantes, no entanto a resposta trabecular foi promissora.

## 2.4 MOVIMENTAÇÃO ORTODÔNTICA ESTIMULADA POR TERAPIAS COMPLEMENTARES QUE UTILIZAM A PIEZOELETRICIDADE

Visto as aplicações das intervenções citadas anteriormente, muitos pesquisadores analisaram o emprego destas no metabolismo ósseo e ligamento periodontal durante a movimentação ortodôntica.

Gandini et al. (1994) testaram os efeitos de ultrassom de 1000 Hz de frequência pulsado, durante a movimentação ortodôntica com 15 ratos Holtzman. Outros 15 espécimes foram utilizados para controle, sendo que estes receberam as forças ortodônticas sem a intervenção com ultrassom. Os autores produziram as forças ortodônticas utilizando fios de amarelo nos segundos molares dos animais. Em cada grupo, foram selecionados cinco animais para serem sacrificados no primeiro dia, após 4 dias e após 7 dias. Na avaliação histológica puderam observar que o grupo experimental, no primeiro dia, apresentou maior quantidade de osteócitos e osteoclastos, além da proliferação capilar mais evidente.



Já no grupo controle, houve maior presença de lacunas ósseas próximo às cristas interdentárias.

Após 4 dias de experimento, o grupo controle ainda apresentava reação inflamatória intensa, principalmente na região cervical. No grupo experimental continuava uma tendência muito grande de neoformação capilar, com maior organização do tecido do ligamento periodontal e com grande quantidade de fibroblastos ativos, mostrando maior atividade celular. Nos grupos de 7 dias, o controle ainda apresentava muito infiltrado inflamatório, desordem das fibras colágenas e pequeno número de fibroblastos, além da presença de áreas de hialinização. Já o experimental apresentou reorganização tecidual evidente, muitos fibroblastos dispostos ao longo das fibras colágenas, e o infiltrado inflamatório praticamente desapareceu, indicando que o periodonto já se encaminhava para uma situação de normalidade, concluindo a efetividade do ultrassom para acelerar a recuperação dos tecidos (GANDINI et al., 1994).

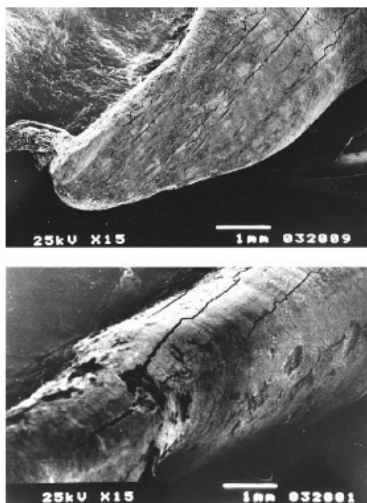
Prieto, Dainesi e Kawauchi (2005) avaliaram oito cães que receberam uma força de 150g estabelecida por uma mola superelástica, posicionada na mesial do primeiro molar superior direito e tracionada até a face distal do canino superior direito. Estes cães foram estimulados com ultrassom de 1.000Hz de frequência, 200 microssegundos de largura, durante 20 minutos diários, sobre a região de movimentação dentária. Ao analisar os cortes histológicos dos dias 7, 14, 21 do experimento, os autores concluíram que a resposta ao tratamento foi intensa neoformação vascular, diferenciação celular no ligamento periodontal e osso alveolar, sendo estes mais organizados e regulares.

O grupo experimental de 21 dias foi o mais promissor. Suas micrografias apresentaram feixes de fibras colágenas do ligamento periodontal bem organizados e inseridos nos tecidos mineralizados. Os seus fibroblastos e os vasos sanguíneos encontravam-se dispostos ao longo das fibras colágenas. O cemento apresenta-se regular com cementoblastos na sua superfície. O tecido ósseo apresentou áreas com nichos ocupados por osteoclastos e presença de osteoblastos. Em contraste, o grupo controle do mesmo período apresentou fibras do ligamento distendidas e algumas desinseridas das porções mineralizadas. Os vasos sanguíneos estavam dilatados e os fibroblastos dispostos aleatoriamente entre as fibras colágenas. O contorno ósseo se mostrou irregular. Estes indícios levaram aos autores a concluir que o ultrassom pode trazer maior remodelação óssea e organização dos tecidos (PRIETO; DAINESI; KAWAUCHI, 2005).

Outro obstáculo que pode ser encontrado no tratamento ortodôntico é a reabsorção radicular severa. El-bialy, El-shamy e Graber (2004) avaliaram os efeitos de ultrassom de baixa intensidade pulsado (LIPUS) no tratamento de reabsorção de raízes durante o tratamento ortodôntico, em humanos.

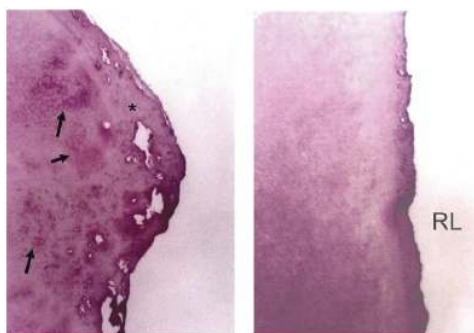
Os pesquisadores contaram com 12 pacientes que necessitavam de extração dos primeiros pré-molares. Em cada pré-molar aplicaram a força vestibular inicial de 50g através de um aparelho ortodôntico, o qual foi ancorado nos primeiros molares e, com uma plataforma anterior de resina acrílica, elevaram a mordida do paciente, para facilitar a movimentação. A aplicação de LIPUS se deu no lado esquerdo de cada participante, já o lado direito foi o controle. Foram 20 minutos de intervenção por dia, durante 4 semanas, na frequência de 1,5MHz. É importante ressaltar que durante a aplicação de LIPUS utilizou-se uma janela acústica, ou seja, a vibração do aparelho permaneceu concentrada na região dos dentes testados. Após o período de tratamento as extrações foram realizadas pela técnica atraumática e 6 pacientes foram avaliados por microscopia eletrônica. Estes apresentaram maior neoformação de cimento nos dentes que receberam tratamento com LIPUS (EL-BIALY; EL-SHAMY; GRABER, 2004).

Já no grupo controle observaram maior quantidade de lacunas de reabsorção, principalmente nas porções coronal vestibular e apical palatal. Nestas mesmas áreas, os dentes tratados por LIPUS apresentaram maiores regiões de reparo através da deposição de novo cimento celular. Os outros 6 participantes foram avaliados por microscopia óptica. Nestes foi possível avaliar as condições pulpares. O grupo teste apresentou sinais de atividade catabólica e anabólica aumentados, sendo caracterizados por atividade fibroblástica, pulpar e capilares dilatados. Estes sinais levam a acreditar que o LIPUS é uma opção de tratamento para reabsorção radicular e o organismo apresenta sensibilidade do quanto à intensidade utilizada durante o tratamento (EL-BIALY; EL-SHAMY; GRABER, 2004).



**Figura 2 - Micrografia eletrônica comparando a reabsorção nas faces vestibulares entre os grupos do estudo. Grupo experimental, acima, grupo controle, abaixo.**

Fonte - El-Bialy; El-Shamy; Graber (2004), p.189



**Figura 3 - Fotomicrografia da face palatal do ápice radicular, no grupo controle, à esquerda. É possível ver grande quantidade de lacunas de reabsorção. Já no grupo de LIPUS, à direita, observa-se a deposição de cimento acelular.**

Fonte - El-Bialy; El-Shamy; Graber (2004), p.190

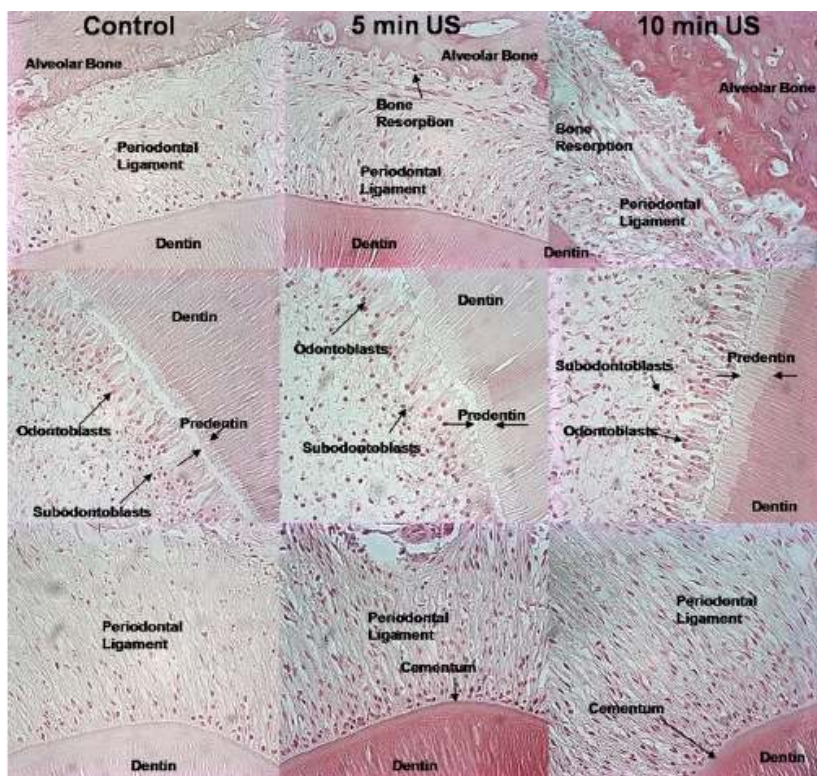
Já em 2011, El-bialy e colaboradores avaliaram os efeitos de LIPUS na movimentação ortodôntica em modelos *ex vivo*. Utilizando 36

fatias de mandíbula de ratos Sprague Dawley, conservadas em cultura, os autores dividiram 3 grupos de 12 secções: controle, 5 e 10 minutos de exposição diária ao LIPUS, de intensidade de  $30\text{mW}/\text{cm}^2$ , durante uma semana. Em todas as fatias aplicaram força de 50g, através de molas calibradas. Após o período de testes, realizaram análise qualitativa e quantitativa de histomorfometria, sendo esta última em 3 secções por grupo. Puderam então constatar que os grupos estimulados por LIPUS apresentaram maior espessura de cimento e dentina, com significância estatística, sendo que o de 10 minutos obteve melhores resultados, mostrando a dose-dependência do tratamento, como demonstrado na figura 3. Não houve diferenças significantes na contagem de odontoblastos em todos os grupos, o que indica que o tratamento é compatível com viabilidade celular. Nos grupos expostos ao LIPUS houve aumento no número de células no plexo subodontoblástico. Nas regiões que sofreram tensão durante a movimentação ortodôntica, e foram submetidas ao LIPUS houve aumento no número de células no ligamento periodontal. Nos grupos de 5 e 10 minutos perceberam maior quantidade de osteoclastos e, também, crescimento na atividade osteoclástica. Diante dos resultados obtidos, os autores concluíram que o ultrassom proporciona maior deposição de dentina e cimento.

Xue et al (2013) também avaliaram os efeitos do LIPUS na movimentação ortodôntica através da ativação da via de sinalização da BMP-2. Os estudos *in vitro* e *in vivo* foram realizados para detectar HGF, ou seja, fator de crescimento de hepatócitos, vias de sinalização Runx2/BMP-2 e da expressão do ativador de receptor de NF- $\kappa$ B (RANKL) por dosagem de proteína C reativa (PCR) em tempo real quantitativo, imuno-histoquímica e Western blot. Os ratos Wistar receberam um aparato ortodôntico, movimentando os primeiros molares superiores e incisivos centrais. Divididos em grupo controle e experimental, cada grupo foi racionado em dia 0, 1, 3, 5, 7 e 14. Os autores utilizaram ultrassom de 1.5-MHz de frequência, com pulsos de  $200\text{ }\mu\text{s}$  a  $800\text{ }\mu\text{s}$ , intensidade de  $30\text{ mW}/\text{cm}^2$ , 20 minutos por dia.

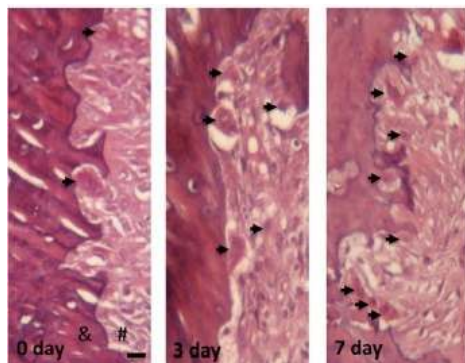
Até o terceiro dia os autores não constatarem qualquer resultado significativo na distância de movimento ortodôntico nos animais do grupo experimental. No entanto, a partir do quinto dia o grupo que recebeu LIPUS apresentou aumento significativo na movimentação dentária, o BMP-2 e a sinalização da expressão RANKL. No dia 5 de experimento, o grupo controle apresentou movimentação de  $281\text{ }\mu\text{m}$  (média  $218\text{--}344\text{ }\mu\text{m}$ ), já o grupo experimental teve  $435\text{ }\mu\text{m}$  (média  $303\text{--}567\text{ }\mu\text{m}$ ). No dia 7, o grupo controle apresentou os seguintes resultados:

497 $\mu$ m (436-558 $\mu$ m); já o experimental obteve: 681 $\mu$ m (média 590–772 $\mu$ m), concluindo assim que há potencialmente a aceleração do tratamento. A pesquisa de BMP-2 no PCR e os dados do Western blot in vitro e in vivo foram consistentes com as observações de imunohistoquímica. Na avaliação histológica, foi observado aumento no número de osteoclastos e expressão de RANKL no lado de compressão. (XUE et al, 2013).



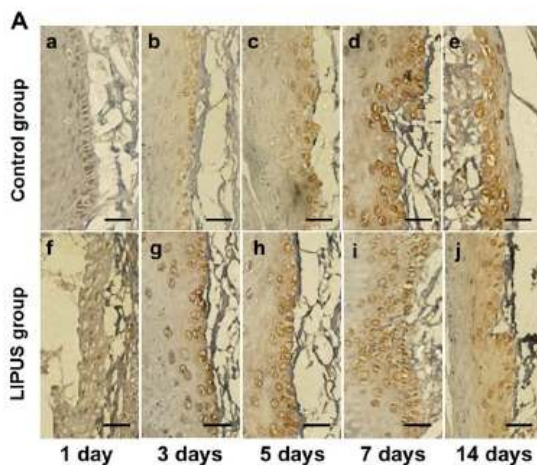
**Figura 4 - Micrografia dos grupos controle, experimental 5 minutos de ultrassom e 10 minutos de ultrassom. É possível observar maior quantidade de predentina e cimento nos grupos experimentais. Aumento de 40x.**

Fonte: El-bialy et al., 2011, p. 695.



**Figura 5 - Micrografia do grupo LIPUS, mostrando a contagem de osteoclastos nos dias 0, 3 e 7 de experimento.**

Fonte - Xue et al (2013)<sup>1</sup>



**Figura 6 - Efeitos do LIPUS em células do ligamento periodontal em análise imunohistoquímica quantitativa de expressão de BMP-2**

Fonte - Xue et al (2013)<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Disponível em:

<http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0068926>  
Acesso: 13/10/2014

Stark e Sinclair (1987) realizaram a aplicação de pulsos eletromagnéticos não invasivos em cobaias para avaliar a quantidade de movimento dentário e características histológicas de cada grupo. Através da confecção de um aparelho intraoral, os autores inseriram molas em nichos nos incisivos centrais superiores, e então conduziram o pulso eletromagnético de 25Hz durante 8 horas por dia, num período total de 10 dias. Os efeitos na fisiologia óssea alteraram a velocidade e quantidade de movimentação ortodôntica do grupo experimental. No décimo dia de experimento, a movimentação dentária de cada grupo foi de: grupo controle - 3.29mm a 0.39mm; grupo experimental - 4.19mm a 0.72mm. Na análise histológica observaram maiores áreas de deposição óssea no grupo experimental, com trabéculas mais organizadas na região lateral da sutura intermaxilar, ou seja, áreas de tensão. Visto que a taxa de movimentação ortodôntica foi maior no grupo experimental a partir do sétimo dia, com significância estatística, os autores concluíram que PEMFs pode acelerar o tratamento.



**Figura 7 - Imagem da movimentação dentária resultante no grupos após 10 dias de controle, à esquerda. Fotomicrografia da região pré-maxilar e incisivos, à direita. A: Grupo controle. B: Grupo experimental.**

<sup>2</sup>Disponível em:

<http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0068926>  
Acesso: 13/10/2014




Fonte: Stark e Sinclair (1987), p. 96-97

Uysal et al. (2010) utilizaram a aplicação de corrente elétrica direta na recuperação após expansão da sutura intermaxilar em ratos Wistar. A expansão se deu através da instalação de uma mola com um helicóide, a qual foi encaixada em nichos cervicais, reproduzidos nos incisivos centrais superiores dos animais dos grupos controle e experimental. Estas molas foram utilizadas por cinco dias de ativação, com 30 gramas de força em ambos os grupos, seguida por um período de sete dias de retenção, onde utilizaram um fio metálico reto, e realizaram a mensuração da distância entre as mesiais dos dentes movimentados com um paquímetro digital. No grupo experimental, além destes procedimentos, foram aplicados parafusos na porção mais lateral das maxilas. Eletrodos foram conectados aos parafusos, transmitindo uma corrente contínua de 3V e 10 $\mu$ A. No parafuso da maxila esquerda aplicaram o ânodo, e na direita o cátodo. Iniciaram a aplicação de corrente a parti do segundo até o quinto dia de expansão, e do segundo ao sétimo dia de retenção.

Na análise histomorfométrica, duplo-cego, avaliaram: regeneração óssea no local da sutura, neoformação óssea, perímetro ósseo, e calibre máximo da lâmina, além dos parâmetros do osso recém formado. Os autores puderam constatar em seus resultados que houve menor expansão da sutura no grupo experimental, no entanto sem diferença estatística neste caso. Não houve também diferenças morfológicas entre as regiões de cátodo e ânodo. No entanto, para as outras investigações o grupo experimental apresentou melhores resultados com uma arquitetura óssea aprimorada, sendo que nestes parâmetros avaliados houve diferença estatística significativa. Por exemplo, o grupo controle apresentou uma média de 34,857% de osso recém formado, em contraponto com o grupo experimental, que apresentou 72,102%, conclusivo de que a utilização de corrente elétrica direta levou a maior neoformação óssea e conseqüente recuperação tecidual mais efetiva (UYSAL et al., 2010).







## 1 - Quadro de Resumo da Revisão Bibliográfica

Autor	Grupos	Intervenção	Período da Avaliação Histológica e outras	Resultados Experimental	Resultados Controle
Gandini et al. (1994)	15 ratos Holtzman no grupo experimental. 15 no controle 	Ultrassom de 1000Hz. Ortodontia: Fios de amarelo nos segundos molares	Dividiram os animais em grupos de 5: dia 1; dia 4 e dia 7	Tecido ósseo metabolicamente ativo e íntegro. + células no interior da matriz óssea + proliferação capilar + osteócitos nas áreas de tensão	Presença de poros vazios no osso, próximos à crista interdental
Prieto, Dainesi e Kawauchi (2005)	8 cães sem raça definida 	Ultrassom de 1000Hz, 200 microssegundos de largura, durante 20 minutos diários. Ortodontia: Mola superelástica; força de 150g (mesial do primeiro molar superior direito tracionada até a face distal do canino superior direito)	7 dias, 14 dias e 21 dias.	Experimental: + fibroblastos + novas fibrilas colágenas entremeadas de numerosos vasos sanguíneos Após 21 dias: fibras do ligamento periodontal organizadas e inseridas nos tecidos mineralizados Superfície óssea irregular e com formações de nichos e presença de osteoclastos e osteoblastos.	Ligamento periodontal desorganizado com as fibras dispostas aleatoriamente
El-bialy, El-shamy e Graber (2004)	12 pacientes humanos, com necessidade de extração de primeiros pré-molares 	LIPUS de 1.500Hz, 20 minutos por 4 semanas, com janela acústica. Aplicado no lado esquerdo de cada participante, o lado direito foi o controle. Ortodontia: força vestibular inicial de 50g, ancorado nos primeiros molares e, com uma plataforma anterior de resina acrílica para elevar a mordida	6 pacientes: M.E. 6 pacientes: M.O.	ME: + neoformação de cimento MO: + atividade fibroblástica pulpar e capilares dilatados	ME: + lacunas de reabsorção nas porções coronal vestibular e apical palatal

Fonte: da própria autora

## 2 - Quadro de Resumo da Revisão Bibliográfica

El-bialy et al (2011)	Modelos ex vivo, 36 fatias de mandíbula de ratos Sprague Dawley conservadas em cultura 	LIPUS de intensidade de 30mW/cm². 3 grupos de 12 secções: controle, 5 e 10 minutos de exposição diária, durante uma semana. Ortodontia: força de 50g, aplicada através de molas calibradas.	Análise qualitativa histológica e quantitativa de histomorfometria	+ Espessura de cemento e dentina + células no plexo subodontoblastica Regiões de tensão: + células no ligamento periodontal. Grupos 5 e 10 minutos: + osteoclastos e atividade osteoclástica	Mesma contagem de odontoblastos: viabilidade celular
Xue et al (2013)	In vitro e in vivo. 48 Ratos Wistar 	LIPUS de 1.500Hz de frequência, com pulsos de 200 µs a 800 µs, intensidade de 30 mW/cm², 20 minutos por dia. Ortodontia: confeccionado aparelho para movimentar os primeiros molares superiores e incisivos centrais.	Detectar HGF, Runx2/BMP-2 e RANKL por PCR em tempo real quantitativo, imunohistoquímica e Western blot. Grupos: dia 0, 1, 3, 5, 7 e 14.	Dia 5: + movimentação dentária: 435µm + BMP-2 + sinalização da expressão RANKL. Dia 7: 681µm Histologia: + osteoclastos + expressão de RANKL no lado de compressão	Dia 5: movimentação dentária de 281µm Dia 7: 497µm
Stark e Sinclair (1987)	40 Porquinhos-da-Índia, 20 experimentais e 20 controle 	Pulsos eletromagnéticos não invasivos de 25Hz, 8 horas por dia, durante 10 dias	Avaliação histológica e movimentação ortodôntica	Movimentação: Dia 10: 4.19mm a 0.72mm. Histologia: + osso esponjoso recém-formado+ matriz óssea não calcificada + trabéculas organizadas na região lateral da sutura intermaxilar (tensão)	Movimentação: Dia 10: 3.29mm a 0.39mm
Uysal et al. (2010)	16 Ratos Wistar 	Corrente elétrica direta de corrente contínua, de 3V e 10µA. Aplicação do segundo até o quinto dia de expansão, e do segundo ao sétimo dia de retenção. No parafuso da maxila E: ânodo; e na D: cátodo. Ortodontia: expansão da sutura intermaxilar com molas com um helicóide, 30g de força	Análise histomorfométrica, duplo-cego	Osso recém formado: 72,102% + regeneração óssea no local da sutura + neoformação óssea, + perímetro ósseo e calibre máximo da lâmina, além dos parâmetros do osso recém formado.	Osso recém formado: 34,857%

Fonte: da própria autora

## 3 DISCUSSÃO

Em sua pesquisa utilizando ultrassom, Gandini et al. (1994) obtiveram melhores resultados no grupo experimental. A principal característica observada foi que o experimental denotou um tecido ósseo metabolicamente ativo e íntegro. Em comparação ao grupo controle, a quantidade de células no interior da matriz óssea e a proliferação capilar foram mais evidentes. Outro aspecto diferencial foi a maior quantidade de osteócitos nas áreas de tensão periodontal, também no grupo experimental. A presença de muitos poros vazios no osso, próximos à

crista interdentária do grupo controle, confirmam o efeito do ultrassom como um estimulador da vascularização.

Estes resultados vão ao encontro dos obtidos por Prieto, Dainesi e Kawauchi (2005), que realizaram experimento semelhante em cães. O grupo experimental apresentou grande quantidade de fibroblastos em franca atividade com novas fibrilas colágenas entremeadas de numerosos vasos sanguíneos, denotando um tecido metabolicamente ativo. Após 21 dias, o grupo experimental apresentou fibras do ligamento periodontal bem organizadas e inseridas nos tecidos mineralizados e a superfície óssea irregular e com formações de nichos e presença de osteoclastos e osteoblastos. No grupo controle, o contorno ósseo também se encontrava irregular, no entanto o ligamento periodontal estava desorganizado com as fibras dispostas aleatoriamente. Diante disto, há indícios de que a utilização do ultrassom acelera o processo de reparação tecidual, com possibilidade de uma maior remodelação e organização dos tecidos.

El-bialy, El-shamy e Graber (2004) avaliaram a utilização do ultrassom na prevenção de reabsorção radicular. O grupo experimental apresentou uma quantidade mínima de lacunas de reabsorção em comparação ao grupo controle. Além disto, os pré-molares que receberam a aplicação de ultrassom apresentaram maior deposição de nova formação de cimento. Os resultados sugerem que a utilização desta intervenção beneficia o anabolismo e catabolismo ósseo e é sensível à dosagem. É importante salientar que estes resultados foram possíveis sem a interrupção da movimentação ortodôntica. Há também o fato de os autores obterem resultados semelhantes aos da literatura, utilizando participantes humanos, com pré-molares com necessidade de extração, o que faz deste modelo o mais confiável e seguro, e nenhum dos participantes relataram desconforto durante a pesquisa.

Utilizando modelo *ex-vivo*, El-bialy et al. (2011), aplicaram ultrassom em fatias de mandíbula de ratos, realizando movimentação ortodôntica. Os grupos experimentais apresentaram maior quantidade de odontoblastos, e células presentes no ligamento periodontal. Não observaram diferenças entre a quantidade de dentina e cimento entre as áreas de tração e compressão. Seus resultados sugerem que o ultrassom aumenta a deposição de cimento e dentina, assim como o resultados obtidos por El-bialy, El-shamy e Graber, em 2004.

Xue et al (2013) avaliaram as ações do ultrassom *in vivo* e *in vitro*, e como influencia a BMP-2, proteína osteogênica. Houve aumento de osteoclastos na região de compressão do grupo experimental,

demonstrando que o ultrassom promove remodelação óssea, assim como os estudos de Gandini et al. (1994) e Prieto, Dainesi e Kawauchi (2005) obtiveram em seus resultados. Comprovou-se também que há aumento da expressão da BMP-2 e que a ação do tratamento não se dá pela variação de temperatura, que permaneceu abaixo de 1°C. Os autores concluem que com a aceleração da remodelação óssea há potencial encurtamento do tratamento ortodôntico.

Stark e Sinclair (1987) utilizaram pulsos eletromagnéticos não invasivos em cobaias para avaliar a quantidade de movimentação ortodôntica. O grupo experimental apresentou maior quantidade de osso esponjoso recém-formado, assim como matriz óssea não calcificada, efeitos estes semelhantes aos do ultrassom nos estudos de Gandini et al. (1994), Prieto, Dainesi e Kawauchi (2005) e Xue et al (2013). No entanto, não houve diferenças significantes na largura da sutura pré-maxilar entre os grupos, sugerindo maior atuação em tecido ósseo que tecido conectivo. Observaram também alterações sistêmicas de ácido úrico e creatinina, mostrando alterações no metabolismo protéico. A taxa, assim como a quantidade total, de movimentação ortodôntica foi significativamente maior no grupo experimental.

Uysal et al. (2010) utilizaram corrente elétrica direta na expansão intermaxilar de ratos Wistar. O grupo experimental apresentou maior quantidade de expansão, deposição óssea, apresentando um estágio mais avançado de cura que o grupo controle. Assim como Stark e Sinclair (1987), este estudo não obteve diferença na largura da sutura intermaxilar, mantendo a normalidade.

Estes resultados obtidos pelos trabalhos avaliados mostram grandes vantagens na utilização de intervenções que utilizam a piezoeletricidade, no entanto é preciso refiná-los. Ebrahim et. al (2013) realizaram uma revisão sistemática e meta-análise comparando a eficácia do uso de ultrassom e estímulo elétrico na ossificação de fraturas recentes e não-uniões. Dois avaliadores revisaram 15 artigos na íntegra e encontraram diversas limitações. Poucos artigos relataram a recuperação funcional dos pacientes, evidências de baixa qualidade, amostras pequenas e não havia trabalhos comparando diretamente as duas técnicas. Já a utilização de ultrassom de baixa intensidade em fraturas recentes por 6 meses pode trazer benefícios.

Assim como na revisão sistemática supracitada, Long et. al (2012) também realizaram estudos sobre intervenções utilizadas para acelerar a movimentação ortodôntica, entre elas estimulação elétrica e campos eletromagnéticos. Os artigos relataram que o movimento dentário total ao final do tratamento foi significativamente maior nos

grupos experimentais. No entanto, a análise crítica revelou que estes apresentaram metodologias questionáveis, portanto, de acordo com este estudo, não se pode considerar os tratamentos como efetivos. Ultrassom não foi avaliado neste trabalho.

Da mesma forma, os artigos avaliados no presente trabalho apresentaram limitações. Todos obtiveram amostras pequenas e não foi possível encontrar trabalhos que comparassem as intervenções diretamente. Outra limitação é a falta de aparelhos padronizados e práticos para aplicação clínica odontológica. Somente um sistema de ultrassom específico para o estímulo da movimentação ortodôntica foi encontrado durante a realização deste trabalho, o Acceledent®, no entanto não foram encontrados estudos que o utilizassem. Além disto, somente no estudo de El-bialy, El-shamy e Graber (2004) foi possível averiguar o desconforto dos pacientes na utilização do ultrassom, logo, mais estudos se fazem necessários para avaliar este parâmetro, não somente na aplicação do ultrassom, mas também das demais intervenções.



## 4 CONCLUSÕES

Há inúmeras vantagens relatadas na utilização das intervenções mencionadas neste trabalho, pois através destas é possível provocar estímulo biológico por vias não invasivas, com exceção do uso de corrente elétrica direta. Além disto, alguns trabalhos sugerem que há o alívio do desconforto das dores relatadas pelos pacientes durante o tratamento ortodôntico.

Além disto, a utilização do ultrassom como uma proposta de tratamento para reabsorção radicular, inexistente atualmente, é também uma possibilidade. A utilização das terapias mencionadas neste estudo para a aceleração do tratamento ortodôntico também é uma possibilidade, visto que há o refinamento da reparação tecidual, assim como a estimulação da remodelação óssea e, conseqüentemente, maior rapidez na cicatrização.

No entanto, fazem-se necessários maiores estudos buscando os efeitos das intervenções no tratamento ortodôntico especificamente, com maiores amostras. Há também a necessidade de se estabelecer os mecanismos pelos quais a estimulação elétrica interage biologicamente, pois ainda não estão claros.





## 5 REFERÊNCIAS

- 1- ALBERTIN, L. M. Efeito do ultra-som sobre o reparo de falha óssea experimental: avaliação quantitativa e morfológica do parâmetro tempo de estimulação. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, São Carlos Sp, v. 8, n. 1, p.1-6, jan. 2004.
- 2- AMADEI, S. U. et al. A influência da deficiência estrogênica no processo de remodelação e reparação óssea. **Bras Patol Med Lab**, São Paulo, v. 42, n. 1, p.5-12, fev. 2006.
- 3- BASSETT A.; PILLA A.; PAWLUK R: A non-operative salvage of surgically resistant pseudoarthrosis and non-unions by pulsating electromagnetic fields. **Clin Orthop** v. 124 p.128-143,1977.
- 4- BERTOLINI, S. M. M. G. et al. Eletroterapia Não-invasiva no Processo de Reparação Óssea em Diferentes Períodos Pós-fratura: Estudo Experimental em Ratos da Linhagem Wistar. **Saúde e Pesquisa**, Maringá, v. 1, n. 1, p.25-29, jan/abr, 2008. Bimestral.
- 5- BITTENCOURT, R. **Fototerapia (lase 830 nm) e Eletroterapia (100ma e 200ma) em Reparo Ósseo de Ratos**. 2008. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Biomédica, Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, Sp, 2008.
- 6- BUSHINSKY, DA. Metabolic alkalosis decreases bone calcium efflux by suppressing osteoclasts and stimulating osteoblasts. **Am J Physiol**. v. 271, n.1, p. 216–222, 1996.
- 7- CHALKLEY, H. W. Method for quantitative morphologic analysis of tissues. **Journal of the National Cancer Institute**.v. 4, pp. 47-53, 1943.
- 8- CLEVERS, H.; NUSSE, R. Wnt/b-Catenin Signaling and Disease. **Cell Press**, Cambridge, v. 149, p.1192-1205, 08 jun. 2012. Disponível em: <<http://www.cell.com/>>. Acesso em: 21 set. 2014.
- 9- DURÁN, J.E.R. **Biofísica fundamentos e aplicações**. 1ª ed. São Paulo: Pearson,. p.177. 2003
- 10- EBRAHIM, S. et al. Low intensity pulsed ultrasonography versus electrical stimulation for fracture healing: a systematic

- review and network meta-analysis. **Canadian Journal Surgery**. Hamilton, v. 57, n. 3, p. E105-E118. jul. 2013.  
<http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0068926>. acesso: 11/10/2014
- 11- EL-BIALY, T.; EL-SHAMY, I.; GRABER, T. M. Repair of orthodontically induced root resorption by ultrasound in humans. **American Journal Of Orthodontics And Dentofacial Orthopedics**. Gotenborg, Sweden, p. 186-193. ago. 2004.
  - 12- FUKADA, E.; YASUDA, I. On the piezoelectric effect of bone.. **J Phys Soc Japan**.; v.12, n.10, p.1158-62. out. 1957.
  - 13- GANDINI JUNIOR, L.G. et al. Avaliação histológica do periodonto de sustentação do molar do rato, submetida à movimentação ortodôntica, sob a ação do ultra-som. **Rev. Odontol. UNESP**, São Paulo, v. 23, n. 1, p.37-49, 1994.
  - 14- HELLER, I. J.; NANDA, R. Effect on metabolic alteration of periodontal fibers on orthodontic tooth movement. **Am J Orthod**, St. Louis, v. 75, no. 3, p. 239-258, mar. 1979.
  - 15- KAHN, J. **Princípios e Prática de Eletroterapia**, 4ª edição, Editora Santos, São Paulo, 2001.
  - 16- KITCHEN, S. **Eletroterapia: Prática Baseada em Evidências**. 11. ed. p. 25, p. 466, p. 481 Londres: Manole, 2003
  - 17- KUZYK, P.R.; SCHEMITSCH, E. H. The science of electrical stimulation therapy for fracture healing. **Indian J Orthop**. Delhi, p. 127-131. abr. 2009.
  - 18- LONG, H. et al. Interventions for accelerating orthodontic tooth movement. A systematic review. **Angle Orthodontist**. Sichuan, v. 83, n. 1, p. 164-171. jun. 2012.
  - 19- MOYERS, R. E., **Ortodontia**, 4ª edição, Rio de Janeiro, RJ, Editora Guanabara Koogan, 1991.
  - 20- PASACHOFF, N. **Marie Currie and the science of radioactivity**. . American Institute of Physics, Nova York e Oxford, 1996. Disponível em:  
 <<http://www.aip.org/history/curie/pierre.htm>>. Acesso em: 21 set. 2014

- 21- NELSON FR. et al. Use of physical forces in bone healing. *J Am Acad Orthop Surg*. Detroit, v. 11, n.5, p.344-354, set. 2003
- 22- NOJIMA, L.I.; GONÇALVES, M.C. **Mudanças Tissulares Decorrentes do Movimento Ortodôntico**. 1996. 16 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Odontologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1996.
- 23- OKUNO, E. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. 1ª ed. São Paulo: Harbra, 238 p. 1986
- 24- OTTER, M.; GOHEEN, S.; WILLIAMS, W.S. Streaming potentials in chemically modified bone. *J Orthop Res*. v.6, n.3, 6p.346-59, mai, 1988.
- 25- PRIETO, M.G.L. O uso do ultra-som na movimentação dentária induzida\*. **Dental Press Ortodon Ortop Facial**, Maringá, v. 10, n. 5, p.83-98, set/out 2005.
- 26- PROFFIT, W.R.; FIELDS JUNIOR, H.W.; SARVER, D.M. **Ortodontia Contemporânea**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, p. 307-311, 2007.
- 27- **SABER ELETRÔNICA**. São Paulo: Saber Ltda, v. 402, n. 42, 01 jul. 2006. Disponível em: <<http://www.sabereletronica.com.br/artigos/1565-transformadores-piezoeltricos>>. Acesso em: 02 dez. 2014.
- 28- SHAPIRO, E.; ROEBER, F. W.; KLEMPNER, L. S. Orthodontic movement using pulsating force-induced piezoelectricity. **The C. V. Mosby Co.**, Boston, v. 76, n. 1, p.59-66, jul. 1979.
- 29- STARK, T. N.; SINCLAIR, P. M. Effect of pulsed Electromagnetic fields on orthodontic tooth movement. **American Journal Of Orthodontics And Dentofacial Orthopedics**. St. Louis, v.91, n.2, p. 91-104. fev. 1987.
- 30- TELEGA, J. J.; WOJNAR, R. Piezoelectric effects in biological tissues. **Journal Of Theoretical And Applied Mechanics**. Warsaw, v.40, n.3, p. 724-759. jan. 2002.
- 31- UYSAL, T. et al. Stimulation of bone formation by direct electrical current in an orthopedically expanded suture in the rat. **Korean J Orthod**. Seoul, p. 160-114. fev. 2010.

- 32- XUE, H. et al. Low-Intensity Pulsed Ultrasound Accelerates Tooth Movement via Activation of the BMP-2 Signaling Pathway. **PLoS ONE**. v. 8 n. 7. jul 2013.
- 33- WANG, Z.; CLARK C.C.; BRIGHTON, C.T.; Up-regulation of bone morphogenetic proteins in cultured murine bone cells with use of specific electric fields. **J Bone Joint Surg Am**, v.88, n.5, p.1053–65. mai. 2006.
- 34- ZHOU, Jun et al. Effects of Pulsed Electromagnetic Fields on Bone Mass and Wnt/b-Catenin Signaling Pathway in Ovariectomized Rats. **Elsevier**, Sichuan Province, v. 43, p.274-282, 23 mai 2012.

